Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 721-735

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۷۳۵-۷۲۱

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی زیست‌محیطی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ششتمد (شمال‌شرق ایران)

صدیقه صلواتی نیک[۱]- سعید سعادت[۲]*- محسن علامه[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰

چکیده

منطقه مورد مطالعه در بخش غربی استان خراسان رضوی قرار دارد و دربرگیرنده شهر ششتمد و دهستان‌های آن است. تنوعی از واحدهای سنگی رسوبی و آذرین که عمدتاً منسوب به کرتاسه و یا جوان‌تر می‌باشد، در این منطقه رخنمون دارند. وجود رخساره‌های سنگی مختلف همراه با فعالیت‌های معدن‌کاری، صنعتی و کشاورزی می‌توانند زمینه‌های لازم برای آلودگی خاک به عناصر سنگین را فراهم نمایند. در این مقاله با توجه اهمیت سلامت خاک از دیدگاه زیست‌محیطی، حضور و پراکنش این عناصر در رسوبات منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این بررسی تعیین میزان و نحوه توزیع فلزات سنگین بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر و همبستگی بین آنها در محیط خاک بود. برای دستیابی به این هدف، نتایج تجزیه شیمیایی ۱۲۴۸ نمونه خاک و رسوب آبراهه‌ای با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره و شاخص‌های فاکتور غنی‌شدگی (EF)، زمین‌انباشتگی (I_{geo})، ضریب آلودگی (CF) و شاخص آلودگی (PI) مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت. بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته، کبالت با نیکل و کروم همبستگی خوب و مثبت نشان می‌دهد که حاکی از منشاء مشترک و احتمالاً مرتبط با واحدهای سنگی مافیک است. عناصر سرب و روی نیز با یکدیگر و همچنین با کبالت و وانادیوم همبستگی مثبت نشان می‌دهند، درحالی‌که آرسنیک همبستگی منفی با اکثر این عناصر نشان می‌دهد که حاکی از منشاء جداگانه برای این عنصر در مقایسه با سرب و روی، مس، نیکل و کبالت است. بر اساس شاخص آلودگی، آرسنیک در جنوب و بخش‌هایی از غرب منطقه دارای آلودگی بالایی بوده و در بقیه مناطق فاقد آلودگی است و یا آلودگی پایینی نشان می‌دهد. بر اساس ضریب آلودگی، بخش‌های مرکزی و جنوب غرب منطقه دارای آلودگی متوسط کروم است. بررسی‌های انجام شده حاکی از خطر حضور آرسنیک بالا در رسوبات رودخانه‌ای بخصوص در بخش‌های جنوبی منطقه است. عناصر مس، وانادیوم، آنتیموان، سرب، روی و کبالت فاقد آلودگی قابل توجه بوده و بعید است با غلظت فعلی مشکلات زیست‌محیطی خاصی را ایجاد نمایند. نتایج حاصل از مطالعات این پژوهش حاکی از آن است که آلودگی‌های فلزات سنگین در منطقه زمین‌زاد و عمدتاً ناشی از سازندهای زمین‌شناسی است و آلودگی‌های انسان‌زاد، باستثنای فعالیت‌های معدن‌کاری در رابطه با عنصر مس، در دیگر موارد نقش موثری نداشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: شمال شرق ایران، فاکتور آلودگی، فلزات سنگین، ضریب غنی‌شدگی، محیط زیست

مقدمه

بررسی منابع آلوده‌کننده و چگونگی توزیع عناصر سنگین در خاک، به‌عنوان مهم‌ترین پل ارتباطی بین موجودات زنده و غیرزنده، همواره مورد توجه محققین مختلف علوم زیستی بوده است (۱۱ و ۱۷). فعالیت‌های مختلف انسانی اعم از صنعتی، کشاورزی و معدن‌کاری در کنار ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌سازی، فرایندهای زمین‌شناسی و هوازدگی در هر منطقه‌ای می‌تواند سبب آزاد شدن عناصر سنگین در خاک شود. عواملی نظیر بافت و دیگر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نیز در تمرکز و یا کاهش غلظت این عناصر می‌توانند موثر باشند. این عناصر به‌دلیل آنکه توسط فرایندهای شیمیایی و زیستی قابل تجزیه نبوده می‌توانند در خاک انباشته شوند و در زنجیره غذایی انسان و سایر موجودات اثرات منفی برجای گذارند.

از عناصر سنگین که اثرات زیان‌باری بر محیط دارند می‌توان به آرسنیک، سرب، مس، روی، کروم، نیکل، کبالت، آنتیموان، استرانسیم و وانادیوم اشاره کرد. برای مثال، قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آرسنیک می‌تواند باعث بروز سرطان، بیماری ریوی، بیماری‌های قلبی عروقی و دیابت گردد. مطالعات بی‌شماری تأثیر منفی قرار گرفتن در

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی و دانشیاران، گروه زمین‌شناسی و مهندسی نفت، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: saeed.saadat@colorado.edu)
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.85308

معرض آرسنیک بر رشد شناختی، هوش و حافظه را نشان داده است. بر اساس تحقیقات انجام شده اولین علائم طولانی مدت قرار گرفتن در معرض مقادیر زیاد آرسنیک (به‌عنوان مثال از طریق آب آشامیدنی و مواد غذایی) معمولاً در پوست مشاهده می‌شود و شامل تغییرات رنگ‌دانه، ضایعات پوستی و لکه‌های سخت می‌باشد (۳۲). شایان ذکر است که ماندگاری عنصر آرسنیک در خاک‌های طبیعی حدود ۴۰۰۰ سال برآورد گردیده است (۲۴). ترکیبات کروم شش ظرفیتی نیز در رده مواد سرطان‌زا طبقه‌بندی می‌شوند (۳۳). در مطالعاتی که بر روی انسان و حیواناتی که در طی مدت طولانی در معرض مقادیر زیاد کروم شش ظرفیتی در آب آشامیدنی قرار داشتند، خطر بیشتری از تومورهای معده گزارش شده است. قرار گرفتن در معرض کروم (VI) خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی و سرطان را دارد و موجب افزایش خطر مرگ و میر مربوط به ریه، حنجره، مثانه، کلیه، استخوان و تیروئید می‌شود (۳۳).

برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و خاک، روش‌های متعددی بیان شده (۲۱) و شاخص‌های آلودگی به طور گسترده برای ارزیابی جامع میزان آلودگی و تعیین نقش آلودگی‌های طبیعی (زمین‌زاد) و ناشی از فعالیت‌های انسانی (انسان‌زاد) بکار گرفته می‌شوند (۲۰ و ۳۱). برای مثال، طاهری و همکاران (۲۹) با ارزیابی شاخص‌های آلودگی در خاک‌های شهرستان زنجان، آلودگی به فلزات روی، سرب و کادمیم را با احتمال منشا عوامل زمین‌شناختی مشخص نمودند. نعیمی مرندی و همکاران (۲۷) با استفاده از زمین‌آمار در منشأیابی برخی فلزات سنگین در اصفهان، گزارش کردند که توزیع برخی فلزات سنگین در خاک در کنترل مشترک عوامل انسان‌زاد و زمین‌زاد است. برزین و همکاران (۹) با بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان، نتیجه گرفتند که غلظت عناصر تحت کنترل عوامل طبیعی بوده، ولی فعالیت‌های کشاورزی به‌دلیل مصرف بیش از حد کودهای دامی و شیمیایی باعث افزایش بیشتر عناصر نیکل، سرب، مس و روی در خاک شده است. موسوی و همکاران (۲۵) نیز توزیع مکانی مس، کروم، آنتیموان و آرسنیک را در خاک‌های سطحی استان همدان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که عناصر مورد مطالعه عمدتاً دارای منشأ زمین‌زاد بودند. مظهری (۲۳) به بررسی زمین‌شیمی خاک‌های منطقه شمال سبزوار پرداخت که منجر به شناسایی آلودگی‌های زیست‌محیطی عناصر کروم، نیکل و کبالت با منشا زمین‌زاد گردید. عظیم‌زاده و خادمی (۶) غنی‌شدگی و توزیع عناصر سنگین را در خاک‌های استان مازندران با استفاده از فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که غلظت سرب، روی و مس تحت تأثیر فعالیت‌های شهری و کادمیم و نیکل بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی بودند.

از دیدگاه ژئوشیمی زیست‌محیطی، رسوبات مهم‌ترین بخش سنگ‌کره به‌شمار می‌روند. بیش از ۹۰ درصد فلزات با ذرات معلق در بستر رود رسوب می‌کنند (۱۱). ذرات دانه‌ریز (رس و سیلت) نیز از نظر شیمیایی بسیار فعال هستند. این ذرات با توجه به قابلیت جذب سطحی بالا، عاملی برای جذب و تجمع فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه به‌شمار می‌آیند (۱۱). در این پژوهش، نتایج حاصل از بالغ بر ۱۲۰۰ نمونه از رسوبات رودخانه و خاک‌های محدوده‌ای به وسعت بیش از ۲۰۰۰ کیلومترمربع با هدف ارزیابی میزان و نحوه توزیع مکانی عناصر سنگین و درجه آلایندگی آنها در خاک‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. برای دستیابی به این هدف، ضمن توجه به سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی، اندیس‌های معدنی و توپوگرافی منطقه، نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه و همبستگی بین عناصر در محیط خاک بررسی و با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره و شاخص‌های مختلف آلودگی به صورت کمیت عددی و نقشه‌های رقومی، نقش عوامل طبیعی و انسانی در تمرکز عناصر سنگین در خاک‌های این ناحیه مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

ناحیه مورد مطالعه

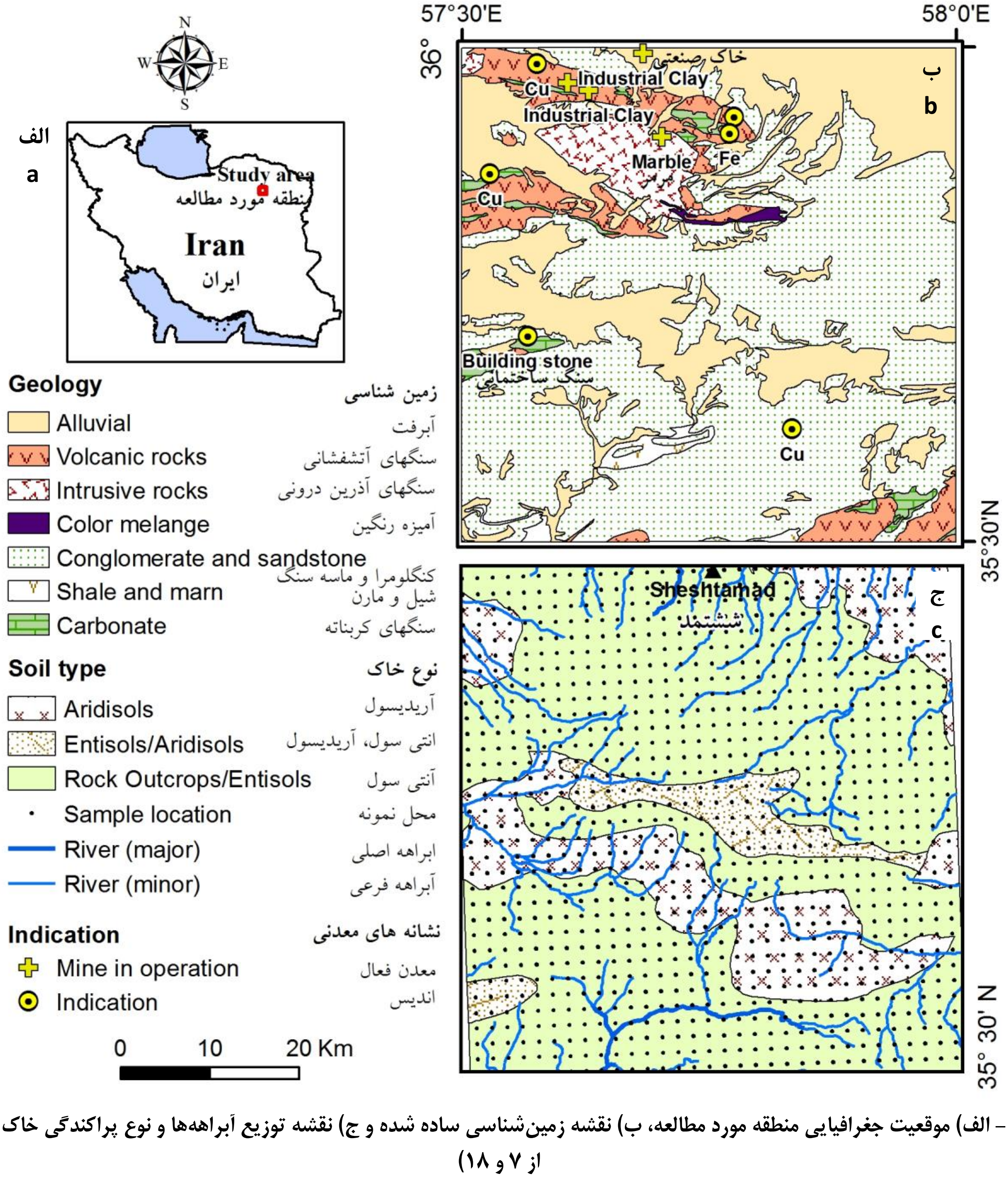
این ناحیه از نظر تقسیمات جغرافیایی در استان خراسان رضوی، بین طول‌های جغرافیایی ′۳۰ °۵۷ تا °۵۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۳۰ °۳۵ تا °۳۶ شمالی قرار دارد (شکل ۱). شهر ششتمد مهم‌ترین مرکز جمعیتی این ناحیه، در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شهر سبزوار واقع شده و دارای جمعیتی بالغ بر ۲۹۰۰۰ نفر است. ششتمد شامل مجموع دهستان‌های بیهق، تکاب، کوه میش، شامکان و ربع شامات است.

به لحاظ زمین‌شناسی این ناحیه بخشی از زون ایران مرکزی است که در توالی افیولیتی سبزوار قرار دارد (۵). قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته در محدوده ورقه ششتمد (کرتاسه زیرین) را می‌توان به سه واحد پیوسته و هم شیب مارنی، آتشفشانی–رسوبی و آهکی تقسیم کرد. کرتاسه فوقانی مجموعه از واحدهای آتشفشانی–رسوبی تشکیل شده که بخش رسوبی آن شامل رسوبات دریایی نسبتاً عمیق آهکی و قسمت‌های آتشفشانی عمدتاً شامل توف، آندزیت، داسیت، تراکی آندزیت و بعضاً آندزیت بازالت است. رخنمون این مجموعه بیشتر در مناطق شمال‌غرب و جنوب‌شرق دیده می‌شود. توده‌های نفوذی حدواسط تا مافیک در بخش شمال‌غرب رخنمون دارند. بخش اعظم منطقه در نواحی مرکزی و جنوبی توسط واحدهای منسوب به سنوزوئیک شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن، آهک پوشیده شده است (۱۸). بر اساس اطلاعات مندرج در نقشه خاک‌شناسی ایران (۷) خاک‌های منطقه شامل دو گروه عمده هستند. گروه اول شامل خاک‌های عصر حاضر، دشت‌های سیلابی رودخانه های جدید، رسوبات خاکسترهای آتشفشانی و ماسه های جدید

و گروه دوم شامل خاک‌های شرایط آب و هوایی خشک بـا تجمعـات آهک یا ژیپس و لایه‌های نمک است (شکل۱). پراکندگی آبراهه‌های فصلی نیز در شکل ۱ مشخص شده که در بررسـی منشـا آلـودگی در بالادست آبراهه‌ها اهمیت دارد. سیستم آبراهه به‌خوبی مناطق مرتفع‌تر در قسمت شمال‌غرب منطقه و انشعاب آبراهه‌ها را نشان می‌دهد.

نمونه‌برداری و بررسی‌های شیمیایی

در محدوده ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد، ۱۲۴۸ نمونه از خاک و رسوبات آبراهه‌ای توسط کارشناسان شرکت جیانگسی کشـور چین، با همکاری سازمان زمین‌شناسی و اکتشـافات معـدنی کشـور در سال ۱۳۷۲ برداشت گردید.



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده و ج) نقشه توزیع آبراهه‌ها و نوع پراکندگی خاک (اقتباس از ۷ و ۱۸)

Figure 1- a) Location and geographic map of study area, b) simplified geological map and c) drainage scattering and type of soil distribution map (Adapted from 7 & 18)

جدول ۱- آمار توصیفی عناصر مورد مطالعه در منطقه (بر حسب گرم در تن)

Table 1- Descriptive statistics of studied elements (mg kg^{-1})

Element عنصر	Zn روی	Pb سرب	Cr کروم	Ni نیکل	Cu مس	As آرسنیک	Sb آنتیموان	Co کبالت	V وانادیوم	Sr استرانسیم
Min. کمینه	27.40	2.00	39.00	15.18	15.80	1.80	0.07	6.45	52.74	112.81
1st Qu.چارک اول	50.42	6.70	187.30	53.85	27.73	4.90	0.21	13.42	109.18	328.88
Median میانه	55.55	8.30	320.20	71.22	31.19	5.90	0.26	15.33	127.59	391.92
Mean میانگین	59.50	9.04	519.38	79.70	34.49	7.70	0.27	16.59	156.73	423.95
3rd Qu. چارک سوم	64.29	10.40	575.50	90.59	37.04	6.90	0.32	18.01	166.34	470.62
Max. بیشینه	211.19	36.50	7481.90	893.11	136.92	266.00	0.94	58.45	1186.00	2955.00

جدول ۲- میانگین غلظت عناصر سنگین در پوسته زمین و شیل جهانی (بر حسب گرم در تن)

Table 2- Average concentration of heavy metals in the earth's crust and global shale (mg kg^{-1})

Sample نمونه	Sr استرانسیم	Cu مس	Pb سرب	Zn روی	Sb آنتیموان	Ni نیکل	Co کبالت	As آرسنیک	V وانادیوم	Cr کروم
شیل جهانی Global shale	300	45	20	95	1.5	68	19	13	130	100
پوسته زمین Earth crust	374	55	12.5	70	0.2	50	25	1.8	120	102

نمونه‌برداری در شبکه به ابعاد ۱/۵ در ۱/۵کیلومتر (شکل ۱) انجام شده است. از هر سلول شبکه، ۳ الی ۴ نمونه از عمق حدود ۲۰ سانتی‌متری برداشت و آماده‌سازی اولیه و جداسازی توسط کارشناسان شرکت مذکور در محل انجام و سپس برای تعیین غلظت کل ۲۸ عنصر با استفاده از دستگاه ICP-MS به کشور چین، ارسال گردیده است. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق ۱۰ عنصر شامل آرسنیک، سرب، روی، مس، کروم، نیکل، کبالت، آنتیموان، استرانسیم و وانادیوم است. آمار توصیفی مقادیر عناصر مذکور در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین برای تعیین نوع رابطه میان متغیرها و میزان وابستگی بین آنها ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ارزیابی توزیع مکانی این عناصر، نتایج آنالیزها در نرم افزار ArcGIS فراخوانی شده و با روش‌های Kriging و IDW پهنه‌بندی غلظت عناصر انجام شد. برای بررسی درجه آلایندگی این فلزات سنگین از چهار شاخص فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo})، ضریب آلودگی (CF) و شاخص آلودگی (PI) استفاده گردید. نتایج بدست آمده با استانداردهای بین‌المللی (۳۰) و غلظت فلزات سنگین در خاک و یا متوسط شیل جهانی مورد مقایسه (۱۹) قرار گرفت (جدول ۲).

فاکتور غنی‌شدگی[1] (EF)

این ضریب برای بیان میزان تأثیر عامل خارجی بر خاک‌ها و رسوبات استفاده می‌شود (۳۱ و ۳۴) و روش مناسبی جهت تعیین تأثیر منشأ لیتوژنیک و آنتروپوژنیک آلودگی است (۳). در این ضریب، مقایسه غلظت عنصر در نمونه با غلظت آن عنصر در نمونه زمینه طبق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$EF=\frac{\left(\frac{C_{x1}}{C_{ref1}}\right)_{sample}}{\left(\frac{C_{x2}}{C_{ref2}}\right)_{background}} \qquad (۱)$$

در این رابطه، EF ضریب غنی‌شدگی، C_{x1} غلظت عنصر مورد بررسی، C_{ref1} غلظت عنصر مبنا (مرجع)، C_{x2} غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین)، C_{ref2} غلظت عنصر مبنا (مرجع) در محیط مبنا (پوسته زمین) می‌باشد. رایج‌ترین عناصر مرجع در مطالعات آلومینیوم، زیرکونیم، آهن، اسکاندیم، تیتانیم، منگنز، کروم و لیتیم هستند (۸، ۱۰ و ۲۸). در این پژوهش از از عنصر لیتیم به عنوان عنصر مبنا (مرجع) استفاده شد. طبقه‌بندی ضریب غنی‌شدگی در جدول ۳ ارائه شده است. ضریب غنی‌شدگی برای عناصر تحت بررسی شامل آرسنیک، کبالت، کروم، مس، سرب، نیکل، آنتیموان، استرانسیم، روی و وانادیوم با استفاده از نرم افزار Excel محاسبه و در فضای Arc GIS پهنه‌بندی شد (شکل ۲).

ضریب آلودگی[2] (CF)

شاخص فوق بیانگر میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین است و از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه طبق رابطه ۲ به دست می‌آید (۲ و ۴).

1- Enrichment Factor

2- Contamination Factor

$$CF=\frac{C_{sample}}{C_{background}} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، CF ضریب آلودگی، C_{sample} غلظت عنصر مورد بررسی، $C_{background}$ غلظت عنصر در شیل جهانی می‌باشد. طبقه‌بندی ضریب آلودگی در جدول ۳ ارائه شده است.

شاخص زمین‌انباشت[۱] (I_{geo})

این شاخص برای اولین بار توسط مولر (۲۶) بیان گردید. از این شاخص برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات استفاده می‌شود. شاخص مذکور از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌گردد.

$$I_{geo}=\log_2[C_n/1.5B_n] \qquad (رابطه ۳)$$

در شاخص زمین‌انباشتگی C_n غلظت عنصر در نمونه، B_n غلظت همان عنصر در نمونه زمینه می‌باشد. در این شاخص

ضریب ۱/۵ برای حذف احتمالی زمینه به علت تأثیرات زمین‌شناختی اعمال می‌گردد (۱۳ و ۱۴). این شاخص از غیر آلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی شده است (۲۲ و ۱۵) (جدول ۳).

شاخص آلودگی[۲] (PI)

شاخص فوق با استفاده از رابطه (۴) بدست می‌آید. در معادله مذکور C_i غلظت فلز سنگین در نمونه مورد بررسی، B_i غلظت زمینه فلز سنگین در پوسته زمین و I تعداد فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه است (۱۶). طبقه‌بندی این شاخص در جدول ۳ ارائه شده است.

$$PI=Ci/Bi \qquad (۴)$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی و با استفاده از نتایج آمار توصیفی، وضعیت پراکندگی و گستره تغییرات عناصر سرب، روی، مس، کروم، نیکل، کبالت، وانادیوم، استرانسیوم، آرسنیک و آنتیموان در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

نتایج تجزیه شیمیایی حاکی از آن است که مقادیر کروم و نیکل در رسوبات آبراهه‌ای منطقه ششتمد به ترتیب ۳۹ تا ۷۴۸۲ و ۱۵ تا ۸۹۳ گرم در تن تغییر می‌کند. میانگین عناصر ذکر شده به ترتیب ۵۱۹ و ۹۰ گرم در تن است که بالاتر از میانگین شیل جهانی (۱۹) (برای کروم و نیکل به ترتیب ۱۰۰ و ۶۸ گرم در تن) می‌باشد. پراکندگی سطحی عنصر کروم با مقادیر بالاتر از ۷۴۰۰ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های شرق، مرکز و جنوب‌غرب منطقه و عنصر نیکل با مقادیر بالاتر از ۸۹۰ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های مرکز و شمال منطقه مشاهده می‌شود. گستره تغییرات عنصر کبالت از ۶ تا ۵۸ گرم در تن گزارش شده است (جدول ۱). پراکندگی سطحی عنصر کبالت با مقادیر بالاتر از ۵۸ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های مرکز، شمال و جنوب‌غرب منطقه و عنصر وانادیوم با مقادیر بالاتر از ۸۵ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های مرکز و جنوب‌غرب منطقه است. بر اساس شاخص غنی‌شدگی محاسبه شده، کبالت در شمال منطقه آلودگی در حد متوسط را نشان می‌دهد و جنوب‌شرق و مرکز منطقه نیز آلودگی متوسط از کبالت دارند ولی بقیه قسمت‌های منطقه دارای آلودگی پایین است. غلظت نیکل در رسوبات منطقه از حدود۱۶ تا ۸۹۳ گرم در تن متغیر است. نیکل در شمال و بخش‌هایی از جنوب‌شرق غلظت‌های غیرعادی تا ۱۰ برابر متوسط شیل جهانی نشان می‌دهد و دارای آلودگی بالا است (شکل ۲). بر اساس ضرایب آلودگی، عنصر کروم در بخش‌های مرکزی و جنوب‌غرب منطقه دارای آلودگی متوسط است (شکل ۳).

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، واحدهای مافیک و الترامافیک که به لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی می‌توانند منشا این عناصر باشند بیش‌تر در بخش‌های شمالی منطقه رخنمون دارند، لذا انتظار می‌رفت که مقادیر بالای عناصر کروم، کبالت، نیکل در این مناطق گزارش شود. درحالی‌که نتایج تجزیه شیمیایی حاکی از آن است در رسوبات و خاک‌های بخش‌های شرق و جنوب‌غرب نیز این عناصر دارای ناهنجاری هستند. بر اساس نقشه ساده شده زمین‌شناسی (شکل ۱)، این بخش‌ها توسط ماسه سنگ، کنگلومرا و مارن‌های نسبتاً جوان پوشیده شده است درحالی‌که در نقشه‌های زمین‌شناسی با جزییات بیشتر، همراه با این واحدها رخنمون‌هایی از میان‌لایه‌های پیروکسن آندزیت هم دیده می‌شود (۱۸). وجود چنین واحد سنگی می‌تواند توجیه‌کننده حضور مقادیر بالای عناصر کروم، نیکل و کبالت در این مناطق باشد. از سوی دیگر، برخی از قطعات این کنگلومرا و یا ذرات تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ و مارن هم می‌توانند حاصل فرسایش سنگ‌های قدیمی‌تر منطقه باشند که ترکیب مافیک و الترامافیک داشته و به لحاظ عناصر فوق غنی بوده‌اند. بنابراین مجموع این عوامل، در کنار چین‌خوردگی‌ها و گسلش فراوان در منطقه، توانسته‌اند در ایجاد این ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی نقش ایفا کرده باشند.

عنصر آرسنیک در نمونه‌های مختلف بین ۱/۸ تا ۲۶۶ گرم در تن متغیر و میانگین آن ۷/۷ گرم در تن است (جدول ۱). بر این اساس در مقایسه با شیل جهانی (با میانگین ۱۳ گرم در تن) اکثر نمونه‌ها بالاتر از حد متوسط استاندارد هستند. پراکندگی سطحی عنصر آرسنیک با مقادیر بالاتر از ۲۶۰ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های جنوبی منطقه مشاهده می‌شود. بر اساس شاخص غنی‌شدگی نیز آرسنیک در جنوب و بخش‌هایی از غرب منطقه دارای آلودگی بالایی بوده و در

1- Geoaccumulation Index
2- Pollution Index

بقیه نقاط فاقد آلودگی است و یا آلودگی پایینی دارد (شکل ۲). پراکنش آرسنیک در قسمت‌های جنوبی تا حد زیادی با رخنمون سنگ‌های آذرین نفوذی با ترکیب اسیدی تا حد واسط انطباق دارد (شکل ۱).

عناصر سرب و روی با گستره تغییرات به ترتیب ۲ تا ۳۶ و ۲۷ تا ۲۱۱ گرم در تن و با میانگین به ترتیب حدود ۹ و ۶۴ گرم در تن، نشان‌دهنده آن است که تعدادی از نمونه‌ها بالاتر از میانگین شیل جهانی و پوسته زمین هستند (جدول ۱ و ۲). بر اساس شاخص غنی‌شدگی، سرب در محدوده نقشه عمدتاً فاقد آلودگی و تنها در بخش‌های محدودی در جنوب غرب منطقه دارای ضریب آلودگی بالایی است.

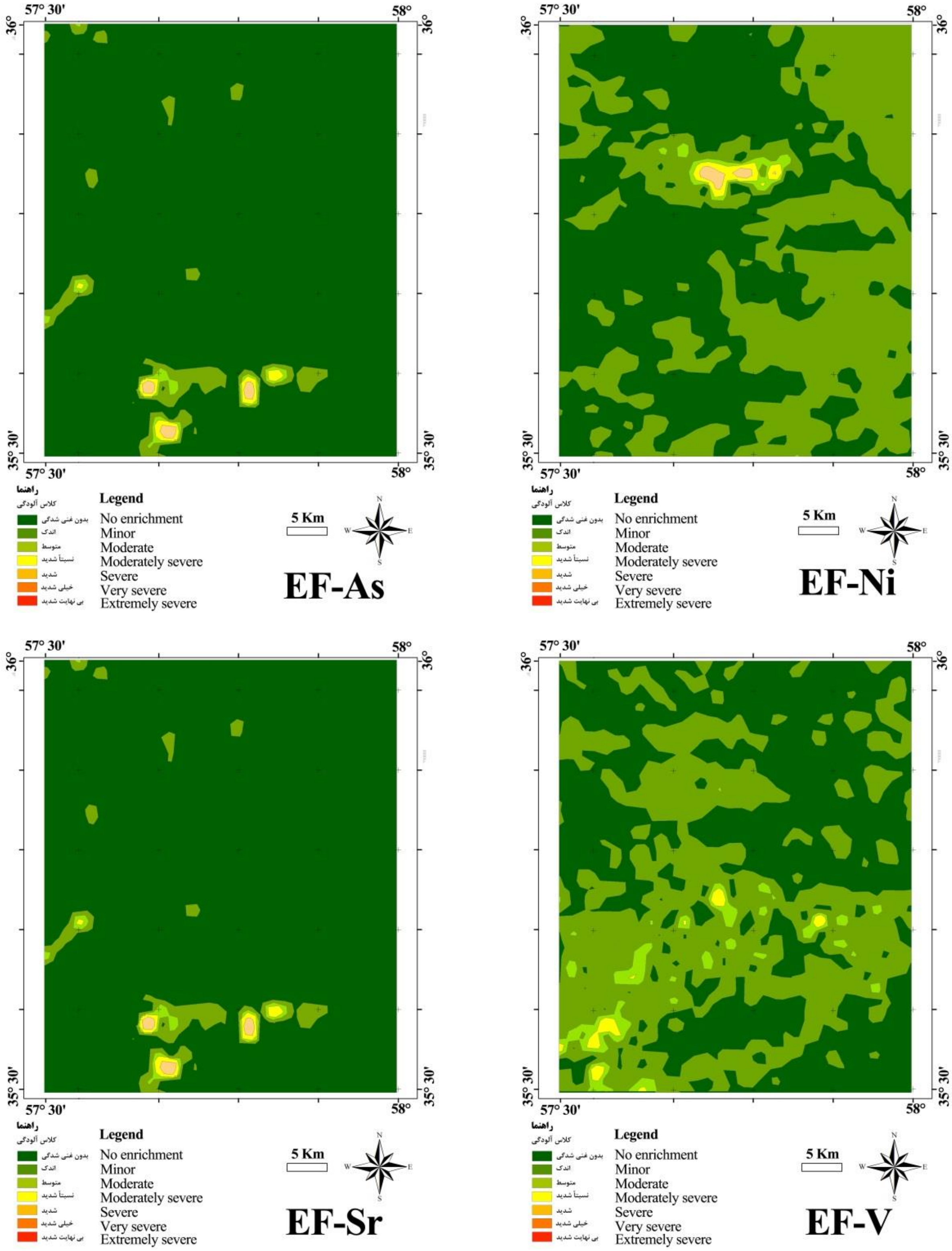
عنصر وانادیوم نیز شبیه سرب در بخش‌هایی از مرکز و جنوب غرب منطقه آلودگی مختصری نشان می‌دهد (شکل ۲). این مناطق عمدتاً توسط سنگ‌های رسوبی تخریبی دانه‌ریز نظیر شیل و مارن پوشیده شده است. عنصر روی با مقادیر بالاتر از ۲۱۰ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های مرکزی، جنوب، جنوب‌غرب و شمال‌غرب منطقه حضور دارد. بر اساس شاخص غنی‌شدگی به استثنای بخش‌های محدودی در شمال غرب و جنوب‌غرب و همچنین مرکز منطقه، اکثر مناطق تحت پوشش ورقه ششتمد فاقد آلودگی از نظر حضور عنصر روی می‌باشد (جدول ۴). در مناطق شمال‌غربی سنگ‌های آذرین شامل دیوریت، کوارتز دیوریت، آندزیت و داسیت رخنمون دارند. ناهنجاری‌های سایر مناطق عمدتاً مرتبط بر رخنمون سنگ‌های رسوبی تخریبی دانه‌ریز نظیر شیل و مارن است که در تمرکز فلزات سنگین نقش موثر دارند.

پراکندگی سطحی عنصر مس با مقادیر بالاتر از ۲۴۰ گرم در تن در آبراهه‌های بخشهای شمال و شمال غرب منطقه گزارش شده است. بر اساس شاخص غنی‌شدگی، مس در شمال، شمال‌غرب و جنوب‌شرقی منطقه آلودگی دارد. بالا بودن غلظت مس در مناطق شمال‌غرب اغلب منطبق بر رخنمون سنگ‌های دیوریت، کوارتز دیوریت، آندزیت و داسیت است.

جدول ۳- طبقه‌بندی فلزات سنگین مطالعه شده بر اساس ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص آلودگی (۱۶ ، ۲۱، ۲۲ و ۲۶)

Table 3- Classification of heavy metals evaluated with Enrichment Factor, Index of Geoaccumulation, Contamination Factor and Pollution Index (16, 21, 22 and 26)

Range محدوده	Description	توصیف
$EF \leq 1$	No enrichment	بدون غنی‌شدگی
$1< EF \leq 3$	Minor enrichment	غنی‌شدگی اندک
$3< EF \leq 5$	Moderate enrichment	غنی‌شدگی متوسط
$5 < EF \leq 10$	Moderately severe enrichment	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
$10 < EF \leq 25$	Severe enrichment	غنی‌شدگی شدید
$25 < EF \leq 50$	Very severe enrichment	غنی‌شدگی خیلی شدید
$EF > 50$	Extremely severe enrichment	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید
$I_{geo} \leq 0$	Unpolluted	بدون آلودگی
$0< I_{geo} \leq 1$	Unpolluted to moderately polluted	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
$1 < I_{geo} \leq 2$	Moderately polluted	آلودگی متوسط
$2 < I_{geo} \leq 3$	Moderate to strongly polluted	آلودگی متوسط تا شدید
$3 < I_{geo} \leq 4$	Strongly polluted	آلودگی شدید
$4 < I_{geo} \leq 5$	Strongly to extremely polluted	آلودگی شدید تا بی‌نهایت
$I_{geo} > 5$	Extremely polluted	آلودگی بی‌نهایت
$CF <1$	Low contamination	آلودگی پایین
$1<CF<3$	Moderate contamination	آلودگی متوسط
$3<CF<6$	Considerable contamination	آلودگی قابل توجه
$CF >6$	Very high contamination	آلودگی خیلی بالا
$PI \leq 1$	Unpolluted, low level of pollution	آلودگی پایین
$1< PI \leq 3$	Moderate polluted	آلودگی متوسط
$PI > 3$	Strong polluted	آلودگی بالا



شکل ۲- پراکنش آلودگی عناصر نیکل، آرسنیک، وانادیوم و استرانسیوم در منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص ضریب غنی‌شدگی

Figure 2- Pollution distribution of nickel, arsenic, vanadium and strontium in the study area based on EF pollution index

در این بخش به لحاظ زمین‌شناسی آثار کانی‌سازی مس در سطح زمین رخنمون دارد. بنابراین ناهنجاری مس در رسوبات رودخانه‌ای شمال تا شمال‌غرب منطقه در ارتباط با کانی‌سازی مس است. با توجه به اینکه در مناطق مجاور نیز کانی‌سازی مس گزارش شده است، احتمال دارد بخشی از آلودگی مس مربوط به زون‌های کانی‌سازی و فعالیت‌های معدن‌کاری در این مناطق بوده که طی زمان در اثر فرسایش به دیگر محیط‌های سنگ‌های رسوبی تخریبی دانه‌ریز نیز انتقال یافته است.

عنصر استرانسیم با مقادیر بالاتر از ۲۹۰۰ گرم در تن بیش‌تر در آبراهه‌های بخش‌های جنوب، جنوب‌غرب، بخش شرقی در مرکز منطقه حضور دارد. بر اساس ضرایب آلودگی بخش‌هایی از شمال، غرب و مرکز منطقه آلودگی متوسطی از استرانسیم نشان می‌دهند (شکل ۲). این عنصر به لحاظ ژئوشیمیایی رفتار مشابه کلسیم دارد، بنابراین وجود رسوبات کربناته همراه با گچ می‌تواند توجیه‌کننده حضور غیرعادی این عنصر در بخش‌هایی از منطقه باشد. عنصر آنتیموان با مقادیر بالاتر از ۴ گرم در تن در آبراهه‌های بخش‌های جنوبی و مرکزی مشابه تمرکز استرانسیوم مشاهده می‌شود. مقادیر آنتیموان در مقایسه با شیل جهانی در حد استاندارد می‌باشد (جدول ۱ و ۲). بر اساس ضرایب آلودگی نیز آنتیموان به استثنای مناطق محدودی در مرکز و جنوب منطقه در بقیه گستره نقشه آلودگی نشان نمی‌دهد. وانادیوم نیز بطور محدود با میزان آلودگی اندک در بخش‌هایی از جنوب‌غرب و مرکز محدوده حضور دارد، که این امر نیز با توجه به تشابه رفتار ژئوشیمیایی این عنصر با عناصر همراه با کانی‌های آهن و منیزیم‌دار سنگ‌های مافیک و الترامافیک که قبلاً در مورد آنها توضیح داده شد همخوانی دارد (شکل ۲، جدول ۴).

بررسی فاکتورهای مختلف آلودگی در منطقه حاکی از آن است که نتایج حاصل از فاکتور غنی‌شدگی (EF)، با سایر فاکتورهای آلودگی نظیر زمین‌انباشتگی (I_{geo})، ضریب آلودگی (CF) و شاخص آلودگی (PI) همخوانی خوبی نشان می‌دهند. برای مثال مقایسه پراکنش آلودگی عنصر کروم در منطقه بر اساس شاخص‌های ارزیابی آلودگی مختلف در شکل ۳ ارائه شده است. جدول شماره ۴، خلاصه‌ای از وضعیت آلودگی عناصر مورد مطالعه و موقعیت آن همراه با درصد مساحت آلودگی منطقه بر اساس شاخص‌های مختلف و منشاء احتمالی آن در محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد را نشان می‌دهد. داده‌های ارائه شده در این جدول حاکی از آن است که به‌استثنای آلودگی عنصر کروم، در مورد بقیه عناصر مورد مطالعه، سطوح تحت پوشش و میزان آلودگی اندک و یا اساساً فاقد آلودگی است و منشا همین موارد محدود نیز، به جز عنصر مس که در تمرکز غیرعادی آن فعالیت‌های انسانی نیز نقش داشته، اساساً ویژگی‌های زمین‌شناختی لیتوژنیک موثر بوده است (جدول ۴).

جدول ٤- وضعیت آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه در گستره مورد مطالعه
Table 4- Contamination status of the heavy metals in the study area

موقعیت آلودگی Location of pollution	منشاء Source	وضعیت Statues	درصد مساحت آلودگی منطقه بر اساس شاخص Percentage of polluted area based PI	Igeo	CF	EF	عنصر Element
جنوب، غرب S, W	درون زاد Lithogenic	آلودگی اندک Low pollution	2 %	3 %	2 %	5 %	آرسنیک As
- -	درون زاد Lithogenic	فاقد آلودگی No pollution	< 1 %	< 1 %	2 %	< 1 %	روی Zn
- -	درون زاد/برون زاد Lithogenic/ Anthropogenic	فاقد آلودگی No pollution	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	مس Cu
- -	درون زاد Lithogenic	فاقد آلودگی No pollution	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	سرب Pb
شرق، جنوب غرب، مرکز E, SW, C	درون زاد Lithogenic	آلوده polluted	55 %	55 %	56 %	53 %	کروم Cr
شمال N	درون زاد Lithogenic	آلودگی اندک Low pollution	4 %	2 %	2 %	3 %	نیکل Ni
- –	درون زاد Lithogenic	فاقد آلودگی No pollution	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	کبالت Co
جنوب‌غرب، مرکز SW, C	درون زاد Lithogenic	آلودگی اندک Low pollution	4 %	2 %	3 %	4 %	وانادیوم V
جنوب‌غرب SW	درون زاد Lithogenic	آلودگی اندک Low pollution	< 1 %	2 %	2 %	2 %	استرانسیوم Sr
- -	درون زاد Lithogenic	فاقد آلودگی No pollution	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	آنتیموان Sb

برای تعیین ارتباط عناصر سنگین با یکدیگر از ماتریس همبستگی استفاده گردید (جدول ۵ و شکل ۴). بر اساس نتایج به دست آمده، برخی عناصر با یکدیگر همبستگی مثبت داشته که می‌تواند حاکی از منشاء مشترک آنها باشد. برای مثال کبالت با نیکل و کروم همبستگی خوب و مثبت نشان می‌دهد که بدلیل منشاء مشترک و احتمالاً مرتبط با توزیع کانی‌های آهن و منیزیم‌دار در واحدهای سنگی مافیک منطقه است (جدول ۵ و شکل ۴). عناصر سرب و روی نیز یکدیگر و هم چنین با کبالت و وانادیوم همبستگی مثبت نشان می‌دهند، درحالی‌که نبود همبستگی و یا همبستگی منفی آرسنیک با این عناصر حاکی از منشاء جداگانه برای این عنصر در مقایسه با سرب و روی، مس، نیکل و کبالت است (جدول ۵ و شکل ۴). حضور عنصر مس نیز با وجود همبستگی محدود با روی، به‌نظر می‌رسد بطور مستقل و احتمالاً بیشتر با فرایندهای کانی‌سازی و فعالیت‌های معدنی در منطقه مرتبط باشد (جدول ۵ و شکل ۴). استرانسیوم تقریباً با اکثر عناصر رابطه منفی و بطور محدود با سرب، آنتیموان و آرسنیک رابطه ضعیف نشان می‌دهد (جدول ۵). این عنصر به لحاظ شیمیایی به کلسیم شباهت زیادی دارد و علاوه بر جانشین شدن در پلاژیوکلازها، در رسوبات کربناته همراه با گچ می‌تواند حضور داشته باشد. این نتایج با پراکندگی سطحی عناصر و نقشه‌های زمین‌شناسی و نتایج حاصل از ضرایب آلودگی انطباق بسیار خوبی نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

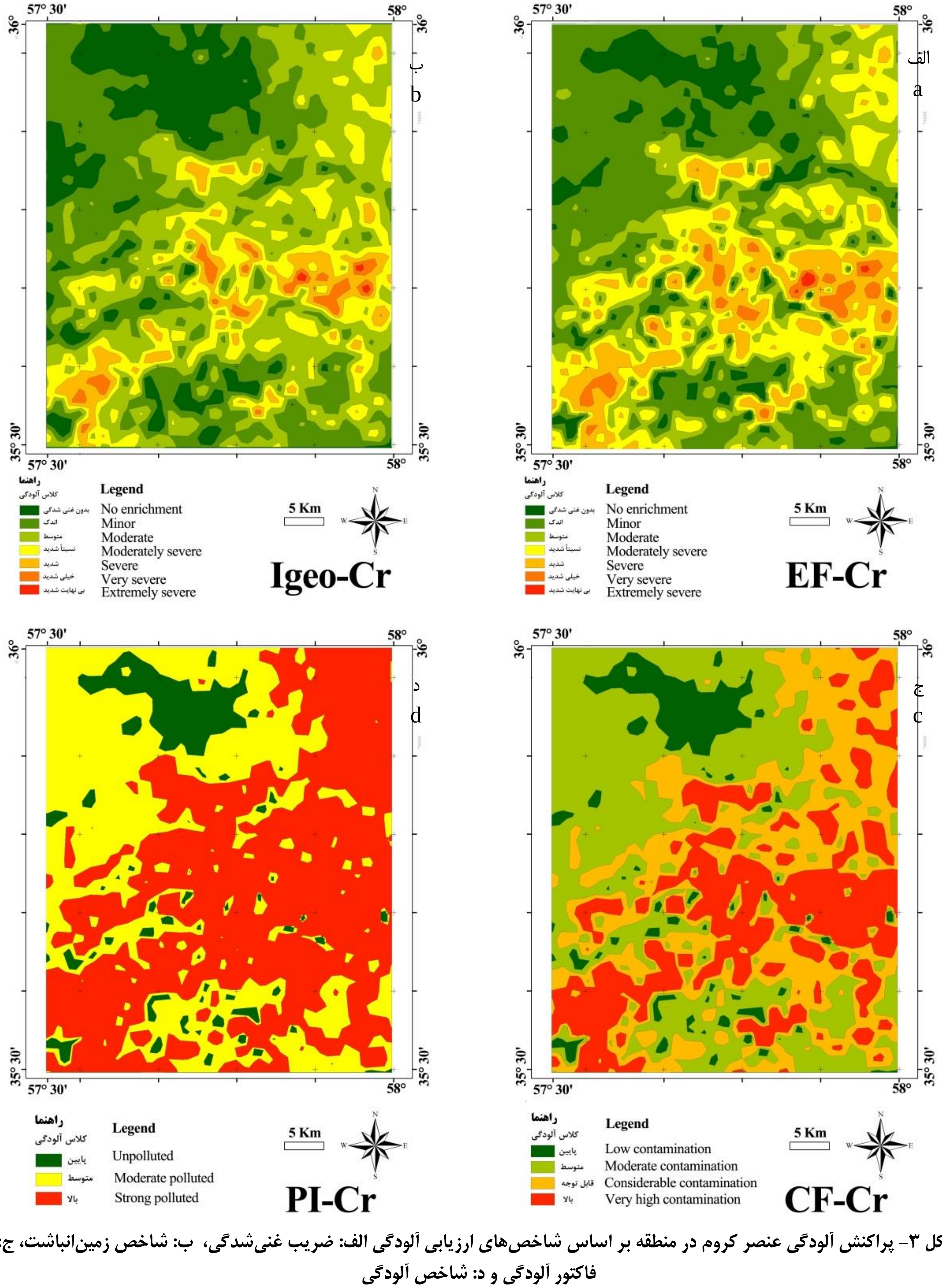
منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ایران مرکزی است که توسط سنگ‌های منسوب به توالی افیولیتی، سنگ‌های ولکانیکی شامل توف، آندزیت، داسیت و بعضاً آندزیت بازالت، توده‌های نفوذی حدواسط تا مافیک و سنگ‌های رسوبی شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، مارن و آهک پوشیده شده است. بر اساس اطلاعات مندرج در نقشه خاک‌شناسی ایران خاک‌های منطقه عمدتاً شامل خاک‌های عصر حاضر، رسوبات خاکسترهای آتشفشانی و خاک‌های شرایط آب و هوایی خشک با تجمعات آهک یا ژیپس و لایه‌های نمک است.

در این پژوهش، با توجه اهمیت سلامت خاک از دیدگاه زیست‌محیطی، میزان حضور و نحوه پراکنش فلزات سنگین در رسوبات این منطقه با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی قریب به ۱۲۵۰ نمونه خاک و رسوب آبراهه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شاخص‌های آلودگی مختلف نشان می‌دهد که عنصر کروم در بخش‌های مرکزی و جنوب‌غرب منطقه آلودگی متوسط نشان می‌دهد و شایسته است این امر مورد توجه کارشناسان ذیربط و ساکنین منطقه قرار گیرد تا در آینده شاهد ورود کروم به چرخهٔ زیستی و پیامدهای احتمالی آن در منطقه نباشیم. سرب تنها در محدوده کوچکی از مرکز منطقه آلودگی قابل توجه نشان می‌دهد. این عنصر یکی از فلزات سنگین بسیار سمی برای حیات انسان به‌شمار می‌رود و بایست نواحی متاثر از آن مورد توجه قرار گیرد. بررسی‌های انجام شده همچنین حاکی از حضور آرسنیک در رسوبات رودخانه‌ای بخصوص در بخش‌های جنوبی منطقه است و ضروری است علاوه بر توجه به کاربری خاک در این مناطق، میزان و حوضهٔ نفوذ این عنصر در آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز مد نظر قرار گیرد. مس نیز تنها در محدوده کوچکی از مرکز منطقه در حواشی فعالیت‌های معدن‌کاری آلودگی کمی نشان می‌دهد. عناصر وانادیوم، آنتیموان، روی و کبالت فاقد آلودگی قابل توجه بوده و بعید است با غلظت فعلی مشکلات زیست‌محیطی خاصی را ایجاد نمایند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی عناصر مورد بررسی

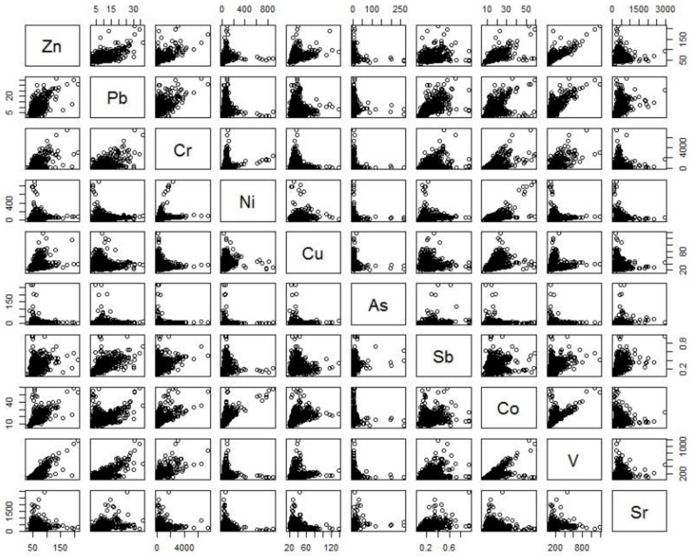
Table 5- Correlation matrix for studied elements

Element عنصر	Zn روی	Pb سرب	Cr کروم	Ni نیکل	Cu مس	As آرسنیک	Sb آنتیموان	Co کبالت	V وانادیوم	Sr استرانسیم
روی Zn	1									
سرب Pb	0.57	1								
کروم Cr	0.49	0.54	1							
نیکل Ni	0.04	-0.1	0.19	1						
مس Cu	0.44	-0.04	-0.16	0.15	1					
آرسنیک As	-0.05	0.02	-0.06	-0.07	-0.03	1				
آنتیموان Sb	0.24	0.58	0.34	-0.02	-0.08	0.2	1			
کبالت Co	***0.67***	0.38	0.53	***0.61***	0.45	-0.07	0.15	1		
وانادیوم V	***0.76***	***0.67***	***0.67***	-0.06	0.09	-0.06	0.26	***0.65***	1	
استرانسیمSr	-0.06	0.31	-0.04	-0.22	-0.21	0.15	0.28	-0.2	0.05	1



شکل ۳- پراکنش آلودگی عنصر کروم در منطقه بر اساس شاخص‌های ارزیابی آلودگی الف: ضریب غنی‌شدگی، ب: شاخص زمین‌انباشت، ج: فاکتور آلودگی و د: شاخص آلودگی

Figure 3- Distribution of chromium contamination in the study area based on pollution indices, a: EF, b: I_{geo}, c: CF and d: PI



شکل ٤- ماتریس همبستگی عناصر مورد بررسی در محدوده مورد مطالعه

Figure 4- Correlation matrix of the investigated elements in the study area

بر اساس ماتریس همبستگی که برای تعیین ارتباط عناصر سنگین با یکدیگر استفاده گردید عناصر کبالت با نیکل و کروم همبستگی خوب و مثبت نشان می‌دهند که حاکی از منشاء مشترک و مرتبط با توزیع واحدهای سنگی مافیک در منطقه است. عناصر سرب و روی نیز یکدیگر و همچنین با کبالت و وانادیوم همبستگی مثبت نشان می‌دهند. حضور عنصر مس نیز به احتمال زیاد با فرایندهای کانی‌سازی و فعالیت‌های معدنی در منطقه مرتبط باشد. استرانسیوم که می‌تواند در رسوبات کربناته همراه با گچ حضور داشته باشد تقریباً با اکثر عناصر رابطه منفی و یا بسیار ضعیف دارد. نتایج حاصل از ضرایب همبستگی با نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر، نقشه‌های زمین‌شناسی و نتایج حاصل از ضرایب آلودگی، انطباق بسیار خوبی نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که آلودگی‌های فلزات سنگین در منطقه عمدتاً ناشی از سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه است و به عبارتی آلودگی منطقه عمدتاً زمین‌زاد می‌باشد و آلودگی‌های انسان‌زاد، به‌استثنای فعالیت‌های محدود معدن‌کاری در ارتباط با کانی‌سازی مس، در منطقه نقش موثر ندارند.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر در قالب طرح پژوهشی رساله کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی نویسنده اول مقاله در دانشگاه آزاد اسلامی مشهد به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از آقای مهندس موشخیان به خاطر همکاری در مطالعات آماری و تهیه نقشه‌های مربوطه و داوران محترم بخاطر رهنمودهای علمی و بسیارکاربردی صمیمانه سپاسگزاریم.

منابع

1- Abrahim G. 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Doctoral dissertation, ResearchSpace @ Auckland.
2- Abrahim G.M.S., and Parker R.J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental Monitoring and Assessment 136 (1-3):227-238.
3- Adamo P., Arienzo M., Imperato M., Naimo D., Nardi G., and Stanzione D. 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. Chemosphere 61(6): 800-809.
4- Adomako D., Nyarko B.J.B., Dampare S.B., Serfor-Armah Y., Osae S., Fianko J.R., and Akaho E.H.K. 2008. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. Environmental Monitoring and Assessment 141(1-3): 165-175.
5- Aghanabati S.A. 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran. (In Persian)
6- Azimzadeh B., and Khademi H. 2013. Estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran Province, Iran. Journal of Water and Soil 27(3): 548-559. (In

Persian with English abstract)
7- Banaei M.H. 2002. Soil Resource Map of Iran. Iran Soil and Water Research Institute, Tehran.
8- Barbieri M., Nigro A., and Sappa G. 2015. Soil contamination evaluation by Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo). Senses and Sciences 2(3): 94-97.
9- Barzin M., Kheirabadi H., and Afyuni M. 2015. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan Province using pollution index. Journal of Water and Soil Science 19(72): 69-80. (In Persian with English abstract)
10- Bhuiyan M.A., Parvez L., Islam M.A., Dampare S.B., and Suzuki S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. Journal of Hazardous Materials 173(1-3): 384-392.
11- Daniel B., and Edward A.K. 1995. Environmental Science, Earth as a Living Planet.
12- Forstner U. 2004. Sediments dynamics and pollutant mobility in rivers: An interdisciplinary approach. Lakes and reservoirs: Research and Management 9(1): 25-40.
13- Gonzales-Macias C., Schifter I., Liuch-Cota D., Endez-Rodriguez L., and Hernandez-Vasquez S. 2006. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico. Environmental Monitoring and Assessment 118(1-3): 211-230.
14- Guo K., Liu Y.F., Zeng C., Chen Y.Y. and Wei X.J. 2014. Global research on soil contamination from 1999 to 2012: A bibliometric analysis. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Soil & Plant Science 64(5): 377-391.
15- Guo Y., Huang C., Pang J., Zha X., Li X., and Zhang Y. 2014. Concentration of heavy metals in the modern flood slackwater deposits along the upper Hanjiang River valley, China. Catena 116: 123-31.
16- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic. Pollution control: A sedimentological approach. Water Research 14: 975–1001.
17- Huisman D.J., Vermeulen F.J.H., Baker J., Veldkamp A., Kroonenberg S.B., and KlaverG.T. 1997. A geological interpretation of heavy metal concentrations in soils and sediments in the southern Netherlands. Journal of Geochemical Exploration 59(3): 163-174.
18- Jafarian M., Jalali M., Mohammadi O., and Nozari A. 2000. Geological map of Sheshtamad, 1:100000 scale. Tehran: Geological Survey of Iran.
19- Kabata-Pendias A., and Mukherjee A.B. 2007. Trace Elements from Soil to Human, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
20- Kesler S.E., Simon A.C., and Simon A.F. 2015. Mineral resources, economics and the environment. Cambridge University Press.
21- Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., and Zaleski T. 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination–A review. Environmental Geochemistry and Health 40(6): 2395–2420.
22- Luoping Z., Huan F., Tong O., Ronguan L., and Weiqi C. 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. Marine Pollution Bulletin 54: 974-982.
23- Mazhari A. 2017. The investigation of surface soil geochemistry and mineralogical role in the heavy metal bioavailability of Sabzevar area. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 25(2): 279-294. (In Persian with English abstract)
24- McLaughlin M.J., Parker D.R., and Clarke J.M. 1999. Metals and micronutrients–food safety issues. Field Crops Research 60(1-2): 143-163.
25- Mousavi E., Soffianian A., Mirghafari N., and Khodakarami L. 2012. Investigation of spatial distribution of heavy metals in Surface soil of Hamadan province. Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences) 25(4): 323-336.
26- Muller G. 1979. Heavy metals in the sediments of the Rhine. Review 79(24):133-149.
27- Naeimi Marandi S., Ayoubi S., and Azimzadeh B. 2013. Use of multivariate statistics and geostatistics to differentiate the lithologic and anthropogenic sources of some heavy metals in Zobahan industrial district, Isfahan province. Journal of Water and Soil 27(3): 560-596. (In Persian with English abstract)
28- Schiff K.C., and Weisberg S.B. 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. Marine Environmental Research 48(2): 161-76.
29- Taheri M., Esmaeili Aftabdari M., Khoshzaman T., Tokasi M., and Abbasi M. 2015. Total and available heavy metal concentrations and assessment of soil pollution indices in selected soils of Zanjan. Journal of Water and Soil 29(5): 1297-1308. (In Persian with English abstract)
30- Turekian K.K., and Wedepohl K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geological Society of America Bulletin 72(2): 175-92.
31- Weissmannová H.D., and Pavlovský J. 2017. Indices of soil contamination by heavy metals – methodology of calculation for pollution assessment (minireview). Environment Monitoring Assessment 189(616): 1-25.
32- World Health Organization (WHO), 2017. Arsenic in Drinking-water. Guidelines for Drinking-water Quality, 11 p.
33- World Health Organization (WHO), 2019. Chromium in Drinking-water. Guidelines for Drinking-water Quality,

21 p.

34- Zhang W., Feng H., Chang J., Qu J., Xie H., and Yu L. 2009. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes. Environmental Pollution 157(5): 1533-1543.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 721-735

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۷۳۵-۷۲۱

Environmental Study of the Distribution of Heavy Metals Contamination in Soils of Sheshtamad Area (Northeastern Iran)

S. Salavati-Nik[1]- S. Saadat[2*]- M. Allameh[3]

Received: 17-02-2020
Accepted: 29-04-2020

Introduction: Sheshtamad area is located in the western part of Khorasan Razavi province and includes Sheshtamad city and its surrounding villages. A variety of sedimentary and igneous rock units, mainly belonging to the Cretaceous or younger age, are found in the area. A series of orogenic movements, lithofacies changes and magmatic activities led to the distribution of heavy elements that can cause environmental problems in the area. This study aimed to assess the heavy metal contamination of the soil in the extent of the study area. It has been attempted to investigate the origin of pollution and its impact on the environment using geochemical data.

Materials and Methods: In this study distribution and possibility of contamination from arsenic (As), lead (Pb), zinc (Zn), copper (Cu), chromium (Cr), nickel (Ni), cobalt (Co), antimony (Sb), strontium (Sr) and vanadium (V) were investigated. These variables were determined using chemical analysis of the sediments. For this purpose, network sampling was carried out at 1.5×1.5 km and 3 to 4 samples were taken from each cell. Throughout the study area (geological sheet of 1:100,000 Sheshtamad), 1248 samples of sediments were collected by Jiangxi Company and analyzed by ICP-MS method. The analysis results were summarized in ArcGIS software and elemental concentration zoning was performed by Kriging and Inverse Distance Weighting methods. Some indices have been proposed to evaluate heavy metal contamination in sediments and soils. In order to determine soil contamination with heavy metals, some parameters such as Contamination Factor and Pollution Index were calculated. Multivariate statistical analyses such as correlation analysis have been applied to identify the geochemical behaviors of different geochemical groups.

Results and Discussion: Surface distribution of As with values above 270 mg kg^{-1} was observed in the drainages of the southern part of the study area. Sr and Sb were measured with values above 2900 mg kg^{-1} in the drainages from south to eastern part, and above 4 mg kg^{-1} in south and central drainages, respectively. Surface dispersion of Zn above 210 mg kg^{-1} was present in the drainages from central, south, southwest and northwestern parts of the region. Cu and Pb were measured with values greater than 240 mg kg^{-1} in North and Northwestern parts, and greater than 110 mg kg^{-1} in East, Central and southwest, respectively. Surface distribution of Co element with values above 58 mg kg^{-1} from drainages in central, north and southwest and V with values higher than 85 mg kg^{-1} in central and southwest part were also observed. Finally, distribution of Cr element with values above 7400 mg kg^{-1} in east central and southwestern part and Ni with values higher than 890 mg kg^{-1} in center and north section were found.

Pb had significant contamination only in a small area of the central part. Cu also showed little pollution only in a small area of the center of the region on the fringes of mining activities. According to the Pollution Index, As had a high pollution in the south and west parts. The central and southwestern parts of the study area show moderate Cr pollution, based on the Contamination Factor. Based on the correlation matrix used to determine the relationship of heavy elements with each other, some elements have a positive correlation with each other, which may indicate their common origin. For example, Co had a positive correlation with Ni and Cr indicating a common origin associated with the distribution of mafic rock units in the region. Pb and Zn have a positive correlation with each other as well as with Co and V, whereas the absence or negative correlation of As with these elements indicates a separate source for this element compared to Pb, Zn, V and Co. The presence of Cu element, despite its limited correlation with zinc, appears to be independent and likely to be more closely related to mineralization processes and mining activities in the region. Sr was negatively or very weakly correlated with most elements. It is chemically similar to calcium and can be present in carbonate sediments with gypsum in addition to substituting for plagioclases. The results of correlation coefficients with elemental zoning maps, geological maps and results of pollution coefficients showed very good agreement. The results of this study

1, 2 and 3- M.Sc. Graduated in Enviromental Geology and Associate Professors, Department of Geology and Petroleum Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: saeed.saadat@colorado.edu)
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.85308

indicated that heavy metal contamination in the region was mainly due to the geological characteristics of this area. In other words, that was mainly “lithogenic”.

Conclusion: The results showed that Cr in the central and southwestern parts of the region had moderate contamination and it should be considered by experts and residents of the area to prevent Cr entering the biological cycle of the region in the future. It is one of the most toxic heavy metals and contaminated areas should receive proper attention. Studies were also indicated the presence of As in the stream sediments, especially in the southern parts of the region, and it is necessary to measure the permeability of this element into groundwater and surface waters in addition to the soil. V, Sb, Zn and Co had no significant contamination and specific environmental problems at current concentrations, is unlikely. Anthropogenic contamination, except from limited mining activities, did not play a significant role in the contamination of this region.

Keywords: Environment, Heavy metals, Northeast of Iran, Pollution